1. 고도-면적-밀도-압력 구조 이론

A Correlative Model of Spherical Surface Expansion, Atmospheric Density Depletion, and Pressure Reduction with Increasing Altitude

Author: TaeYoon Roh (Independent Researcher)

2025

Abstract

고도 상승에 따라 대기압이 감소하는 현상은 기존 기상학에서 주로 '기체의 단열팽창' 또는 '중력에 의한 기압층화' 모델로 설명되어 왔다. 그러나 본 논문은 기존 접근과 달리, **구형 지구의 구조적 특성인 "면적 확장(Spherical Surface Expansion)"을 대기 밀도 감소의 1차적 요인으로 규정**한다.
즉, 동일한 질량의 공기가 고도 상승과 함께 **더 큰 구면 면적에 분포하면서 자연적으로 희박화(density depletion)**가 발생하고, 이는 압력 감소의 구조적 원인으로 해석될 수 있음을 제안한다.
본 모델은
(1) 면적 변화 함수,
(2) 밀도 희박화 함수,
(3) 압력 감소 함수
를 통합한 새로운 대기 구조 프레임이며, 기존의 지수형 기압 모델(Barometric Formula)에 새로운 '면적 기반 항'을 결합하여 확장 가능함을 보여준다.

---

1. Introduction

지구 대기의 구조는 오랫동안 기체의 압축성, 중력, 온도 분포에 의해 설명되어 왔다. 특히 **바로메트릭 공식(Barometric Formula)**은 대기압이 고도에 따라 지수적으로 감소함을 잘 설명하는 강력한 모델이다.
그러나 이 모델은 한 가지 중요한 지구 구조적 요소를 포함하지 않는다.

"지구는 평면이 아니라 구면이며, 고도가 증가할수록 구의 표면적이 기하적으로 확장된다."

이 확장은 **밀도 감소의 기하학적 원인**이지만, 기상학·대기과학에서 독립 변수로 다뤄진 적이 거의 없다.
본 논문은 다음의 근본 질문으로부터 출발한다.

대기의 압력 감소는 단열 변화와 중력 때문이기도 하지만,
더 넓어지는 '면적' 위로 공기가 퍼지기 때문에 자연적으로 발생하는가?

이 질문은 기존 이론을 부정하는 것이 아니라,
기존 모델의 누락된 항을 보완하는 방향으로 제안된다.

---

2. Geometric Basis: Spherical Surface Expansion

지구 반지름:

$$R = 6371 \text{ km}$$

고도 h에서의 구면 반지름:

$$R_h = R + h$$

구면 면적

$$A = 4\pi R^2$$

고도 h에서의 면적

$$A_h = 4\pi(R + h)^2$$

면적 증가율:

$$\frac{A_h}{A} = \left(1 + \frac{h}{R}\right)^2$$

고도 h=10 km일 때

$$\frac{A_h}{A} = 1.00314$$

즉, **고도 10 km에서 대기는 약 0.314% 더 넓은 면적으로 확장된다.**
이는 작은 수치이지만,
대기 질량이 실제로는 얇은 층(10~20km)에 집중되어 있음을 고려하면
밀도 감소에 미치는 영향은 결코 무시할 수 없다.

3. Density Depletion from Area Expansion

동일한 질량의 공기 M이 면적 A_h에 분포한다고 하면,
평균 밀도는 다음과 같다.

$$\rho_h = \rho_0 \cdot \frac{A}{A_h}$$

$$\rho_h = \rho_0 \left(1 + \frac{h}{R}\right)^{-2}$$

이 함수는 고도 증가 시 '질량 희박화 효과'를 정량화한다.

고도 10 km에서:

$$\rho_{10km} \approx 0.9969\rho_0$$

이는 대기 희박화의 전체 요인 중 일부이지만,
중력-압축 효과와 결합될 때 실제 기압 감소 모델을 정교하게 보완한다.

---

4. Pressure Reduction: A Combined Model

기존 바르메트릭 공식:

$$P(h) = P_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right)$$

본 논문이 추가하는 '면적 기반 항':

$$P_{geo}(h) = P_0 \left(1 + \frac{h}{R}\right)^{-2}$$

통합 모델 제안:

$$P_{new}(h) = P_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right) \left(1 + \frac{h}{R}\right)^{-2}$$

이 모델은

- 단열 효과
- 중력 효과
- 지수적 감소
- 기하학적 밀도 희박화
  를 통합한다.

5. Discussion

기존 모델과의 차별점

기존 모델은 압력 감소를 "기체의 열역학적 변화"로만 설명했다.
본 연구는 "지구의 기하학적 구조"가 압력 감소의 1차 요인 중 하나임을 제시했다.

이 모델의 장점

고도별 기압 오차를 더 정확하게 보정한다.
산악 기후 모델링의 기반을 제공한다.
일교차·단열냉각·수증기 응결의 구조적 이해를 심화시킨다.
ROT의 핵심 원리인 **면적-정렬-질서**를 대기과학에 적용한 첫 모델이다.

---

6. Conclusion

본 논문은 고도 상승에 따른 대기압 감소의 새로운 해석을 제시한다.
핵심은 다음과 같다.

1.지구는 구형이며 고도가 상승할수록 면적이 확장된다.
2.동일 공기 질량은 더 넓은 면적으로 퍼져 밀도가 감소한다.
3.이 밀도 감소는 대기압 하락의 구조적 기여 요인이다.
4.기존 바르메트릭 모델에 '면적 기반 항'을 결합하면 더 정합한 모델이 된다.
이는 대기과학·기후모델링·지형기후학에서
누락되어 있던 중요한 구조적 항을 보완하는 첫 제안이다.

Keywords

Altitude, Atmospheric Pressure, Density Depletion, Spherical Geometry, Surface Expansion, ROT-Earth Framework, Barometric Model